

**ANALISIS DAN PERANCANGAN KOORDINASI SISTEM PROTEKSI
RELE ARUS LEBIH DI PUSAT PENAMPUNGAN PRODUKSI MENGGUNG
PERTAMINA ASSET IV FIELD CEPU**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada Jurusan
Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

DIO PUTRA NUGRAHA

D 400 122 006

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2017**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS DAN PERANCANGAN KOORDINASI SISTEM PROTEKSI
RELE ARUS LEBIH DI PUSAT PENAMPUNGAN PRODUKSI MENGGUNG
PERTAMINA ASSET IV FIELD CEPU**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

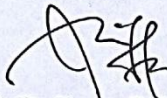
DIO PUTRA NUGRAHA

D 400 122 006

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing

acc 8/4-2017



Aris Budiman S.T.,M.T.

NIK.123

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS DAN PERANCANGAN KOORDINASI SISTEM PROTEKSI RELE ARUS LEBIH DI PUSAT PENAMPUNGAN PRODUKSI MENGGUNG PERTAMINA ASSET IV FIELD CEPU

OLEH

DIO PUTRA NUGRAHA

D 400 122 006

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari, 2017
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Aris Budiman S.T., M.T.
(Ketua Dewan Penguji)
2. Hasyim Asy'ari, S.T., M.T.
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Ir. Jatmiko, M.T.
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

(.....)

Dekan,)



Ir. Sri Sunarjono, MT. PhD

NIR. 682

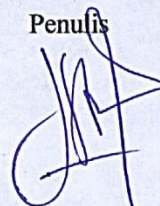
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, ^{01 April}..... 2017

Penulis



DIO PUTRA NUGRAHA

D 400 122 006

ANALISIS DAN PERANCANGAN KOORDINASI SISTEM PROTEKSI RELE ARUS LEBIH DI PUSAT PENAMPUNGAN PRODUKSI MENGGUNG PERTAMINA ASSET IV FIELD CEPU

Abstrak

Gangguan hubung singkat adalah suatu hubungan abnormal (termasuk busur api) pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda. Rele arus lebih (*overcurrent relay*) adalah salah satu peralatan sistem proteksi yang sangat dibutuhkan dalam mengisolir gangguan hubung singkat. Untuk meningkatkan koordinasi proteksi perlu ada perencanaan koordinasi rele arus lebih di Pusat Penampungan Produksi Menggung Pertamina Asset IV Field Cepu. Untuk membantu proses perencanaan koordinasi rele arus lebih penulis mengumpulkan data kelistrikan yang dibutuhkan, kemudian memasukkan data tersebut pada *software* ETAP *Power Station* 12.6 untuk membuat pramodel *single line diagram*. Selanjutnya menentukan dimana letak rele dan menghitung nilai arus hubung singkat di bus terdekat dengan rele. Hasil penelitian menunjukkan perhitungan setting rele arus lebih yaitu nilai *delay instantaneous* pada tahap 1 adalah 0.1 detik, pada tahap 2 nilainya 0.3 detik, tahap 3 nilainya 0.5 detik, tahap 4 nilainya 0.7 detik dan tahap 5 nilainya 0.9 detik. Hal ini ditunjukkan dengan hasil kurva simulasi yang tidak saling tumpang tindih dan memiliki perbedaan waktu kerja sebesar 0.2 detik yang mengacu kepada standar IEEE 242-1986. Dalam pengujian simulasi dengan sumber gangguan pada bus 11, 22, dan 27 menunjukkan bahwa koordinasi rele arus lebih sudah baik yaitu *circuit breaker* dapat trip secara berurutan dari titik terdekat dengan gangguan hingga menuju ke sumber arus.

Kata Kunci: ETAP *Power Station* 12.6, koordinasi proteksi, rele arus lebih.

Abstract

The short circuit disturbance is an abnormally connection (include an arc) of relatively low impedance, whether made accidentally or intentionally, between two points of different potential. Overcurrent relay is one of protection device to isolate the short circuit disturbance. To improve the protection coordination should be planning the coordination of overcurrent relay on Pusat Penampungan Produksi Menggung Pertamina Asset IV Field Cepu. So, to help that plan the writer collecting all electrical data that require for analysis, then input the data to the ETAP *Power Station* 12.6 software to make a single line diagram. After that decide the point where the overcurrent rele are and calculate the value of short circuit at the nearest point where the overcurrent relay are located. From the result of the research shows the value of delay instantaneous in phase 1 is 0.1 second, phase 2 is 0.3 second, phase 3 is 0.5 second, phase 4 is 0.7 second and phase 5 is 0.9 second. This is indicated by simulation curves that don't overlap and the different of delay is 0.2 second which refers to the IEEE 242-1986 standard. In simulation testing report with sources of disturbance in bus 11, 22, and 27 show the circuit breaker can disconnect the current flow step by step from nearest the point of disturbance until to the power source.

Keywords: ETAP *Power Station* 12.6, protection coordination, overcurrent relay

1. PENDAHULUAN

Kehidupan manusia saat ini tidak dapat dipisahkan dengan kebutuhan akan energi listrik. Masyarakat perkotaan hingga pedesaan sangat bergantung dengan listrik. Pemanfaatan energi listrik yang mudah

menjadi salah satu faktor ketergantungan manusia terhadap listrik. Banyak peralatan elektronik saat ini yang sangat membantu pekerjaan manusia baik di bidang rumah tangga hingga industri sehingga membuat pekerjaan lebih mudah dan praktis.

Industri merupakan salah satu bidang yang mempengaruhi pertumbuhan suatu negara, baik dalam aspek perekonomian, pendidikan, kebudayaan dan sebagainya. Industri-industri dengan kapasitas produksi rendah hingga tinggi pasti menggunakan peralatan elektronik untuk memudahkan proses produksi. Bahkan industri dengan kapasitas produksi tinggi semua proses produksi dikerjakan dengan bantuan mesin untuk mempercepat proses produksi, sehingga membutuhkan suplai energi listrik dalam jumlah besar. Hal ini menyebabkan kelistrikan dalam industri kapasitas produksi tinggi memerlukan perhatian yang lebih sehingga dapat meminimalisir kerugian akibat gangguan-gangguan yang mungkin terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik.

Ada banyak gangguan-gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi, salah satunya adalah timbulnya hubung singkat yang dapat menyebabkan kerusakan sistem maupun peralatan listrik. Hubung singkat adalah suatu hubungan abnormal (termasuk busur api) pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda.

Pada jaringan distribusi lebih berpotensi untuk terjadi gangguan hubung singkat antar fasa atau fasa ke tanah, hal ini yang menyebabkan kerusakan pada peralatan distribusi maupun pada beban-beban listrik. Tidak hanya itu namun juga seberapa jauh jangkauan dampak saat terjadinya gangguan, dan pengaruhnya terhadap sistem. Solusinya adalah dengan memasang perangkat proteksi rele arus lebih yang dapat mengisolir gangguan tersebut. Dalam hal ini perangkat proteksi harus memiliki sensitivitas, selektivitas, reliabilitas dan kecepatan yang baik. (Horowitz & Phadke, 2008).

Proteksi arus lebih adalah elemen yang sangat penting karena untuk meminimalisir terjadinya gangguan akibat kesalahan atau kegagalan sistem dan untuk memastikan tetap berlanjutnya penyaluran tenaga listrik. Rele arus lebih adalah salah satu peralatan yang digunakan untuk mencapai tujuan tersebut. Rele arus lebih harus memiliki keandalan dan akurasi yang tinggi untuk mendeteksi adanya gangguan dan menentukan waktu operasi. Seluruh sistem akan sangat terpengaruh apabila rele gagal untuk trip dikarenakan kesalahan dalam waktu operasi. (Sandesh, Ravi, Nischal & Kumar, 2016).

Rele arus lebih adalah tipe rele yang mudah dalam pengaturan, namun hal ini akan menjadi masalah ketika dikoordinasikan dengan rele yang lain pada sebuah sistem distribusi jaringan yang besar. Untuk dibutuhkan sebuah *software* yang mampu membantu mempermudah dalam pengaturan setting koordinasi rele arus lebih yaitu ETAP 12.6. *Software* ini memiliki halaman awal yang sangat

membantu dalam merancang dan menghitung nilai-nilai yang diinginkan sebuah jaringan distribusi yang besar. (Saini, 2014).

Pusat Penampungan Produksi Menggung Pertamina Asset IV Field Cepu belum cukup memiliki sistem proteksi hubung singkat yang mumpuni dari sumber listrik PLN maupun generator hingga beban. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem proteksi yang lebih handal dalam menanggulangi gangguan yaitu dengan menggunakan *overcurrent relay*.

1.1 Rumusan masalah

Bagaimana cara menentukan setting rele arus lebih dan koordinasinya pada sistem distribusi tenaga listrik di Pusat Penapungan Produksi Menggung Pertamina Asset IV Field Cepu.

1.2 Tujuan penelitian

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui besaran setting dan koordinasi rele arus lebih di Pusat Penapungan Produksi Menggung Pertamina Asset IV Field Cepu.

1.3 Manfaat penelitian

1. Menambah pengetahuan bagi peneliti dibidang distribusi tenaga listrik dalam hal pemanfaatan *software* ETAP 12.6 untuk menganalisis gangguan arus lebih di Pusat Penapungan Produksi Menggung Pertamina Asset IV Field Cepu.
2. Diharapkan dapat menambah pengetahuan bagi peneliti tentang pengaturan dan karakteristik rele arus lebih pada jaringan distribusi tenaga listrik di Pusat Penapungan Produksi Menggung Pertamina Asset IV Field Cepu.
3. Hasil penelitian diharapkan dapat digunakan sebagai referensi untuk setting rele arus lebih di Pusat Penapungan Produksi Menggung Pertamina Asset IV Field Cepu.

2. METODE

Penelitian ini dengan judul analisis dan perancangan koordinasi sistem proteksi rele arus lebih di Pusat Penampungan Produksi Menggung Pertamina Asset IV Field Cepu dibuat untuk menganalisis dan merancang sistem proteksi arus lebih menggunakan *software* ETAP 12.6 *Power Station*. Penelitian ini dibuat dengan menggunakan metode sebagai berikut :

2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari buku-buku referensi, jurnal nasional maupun internasional dan artikel-artikel sebagai referensi yang berhubungan dengan tema penyusunan penelitian ini.

2.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data yang diperlukan untuk menyusun penelitian ini di Pusat Penampungan Produksi Menggung Pertamina Asset IV Field Cepu.

2.3 Analisa Data

Analisa data dilakukan untuk memahami data yang diperoleh yang kemudian dapat diketahui apakah suatu sistem masih dapat bekerja dengan baik atau tidak.

2.4 Perancangan

Perancangan bertujuan untuk memodelkan data sistem distribusi pada ETAP 12.6 sehingga dapat diatur sesuai dengan keinginan.

2.5 Perhitungan

Perhitungan dilakukan untuk memperoleh hasil besaran yang digunakan dalam setting peralatan proteksi arus lebih yang kemudian dimasukkan dalam rancangan sistem distribusi pada ETAP 12.6.

2.6 Pengujian

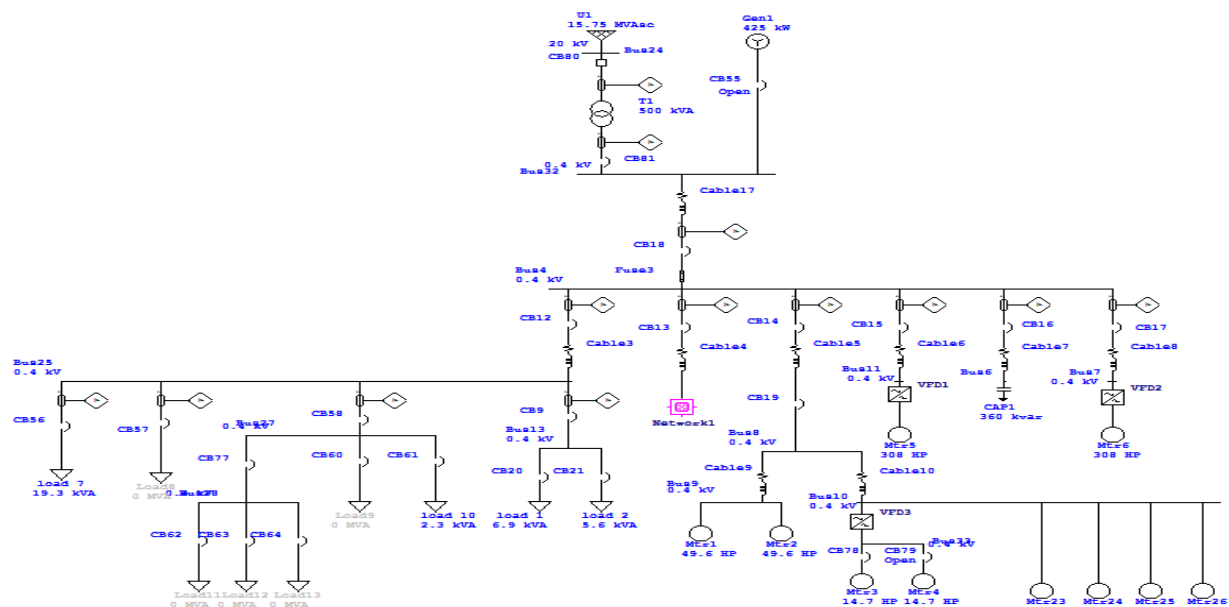
Pengujian dilakukan setelah mendapatkan hasil dari perhitungan sebelumnya yang bertujuan untuk mengetahui apakah setting peralatan proteksi mampu bekerja sesuai dengan keinginan peneliti atau tidak.

2.7 Perlengkapan Pendukung

Perlengkapan pendukung adalah perlengkapan yang mendukung tercapainya tujuan penelitian. Perlengkapan pendukung ini berupa perangkat keras PC (Personal Computer) atau laptop yang dilengkapi dengan *software* ETAP Power Station 12.6. Perlengkapan tersebut digunakan untuk menganalisis dan mensimulasikan setting *overcurrent relay* apakah sesuai dengan keinginan peneliti atau tidak.

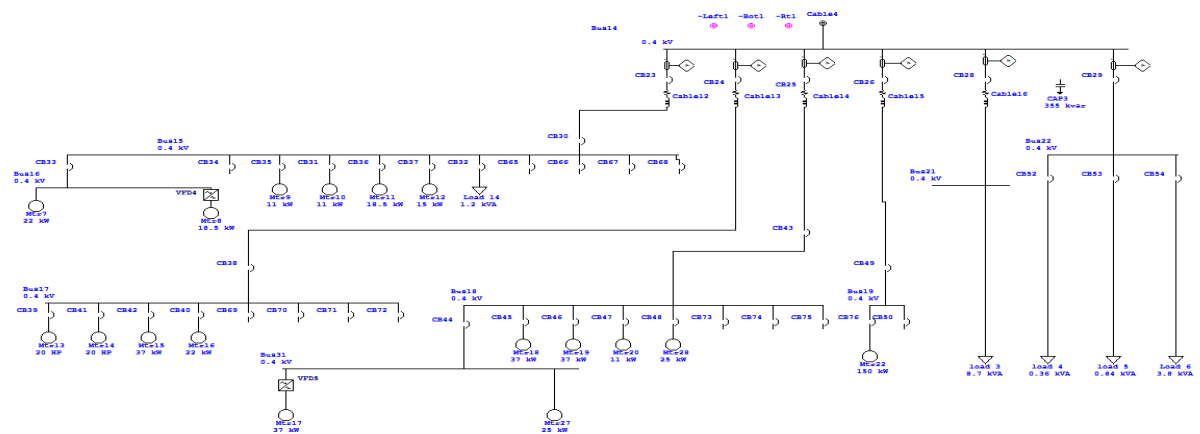
2.8 Gambar Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Gambar 1 dan Gambar 2 adalah gambar *single line diagram* sistem distribusi Pusat Penampungan Produksi Menggung Pertamina Asset IV Field Cepu berdasarkan data yang diambil oleh peneliti dan kemudian dimasukkan dalam *software* pendukung ETAP Power Station 12.6.



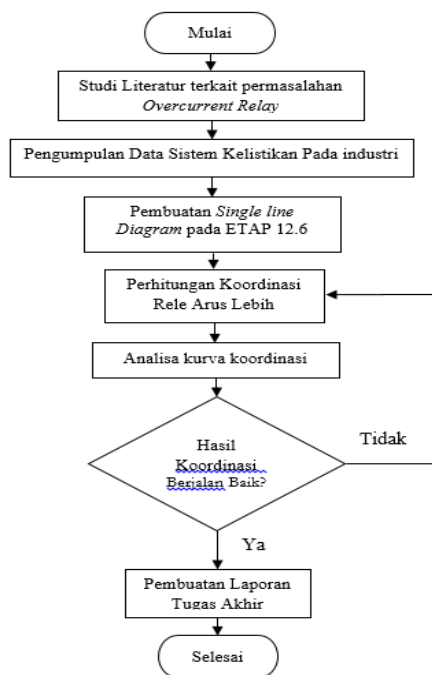
Gambar 1. Sistem kelistrikan di PPP Menggung

Pertamina Asset IV Field Cepu dalam simulasi ETAP 12.6 bagian 1



Gambar 2. Sistem kelistrikan di PPP Menggung
Pertamina Asset IV Field Cepu dalam simulasi ETAP 12.6 bagian 2

2.9 Flowchart Penelitian



Gambar 3. Flowchart Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Gangguan Hubung Singkat

Untuk menghitung nilai setting rele, perlu diketahui nilai arus hubung singkat yang terjadi di titik terdekat rele menggunakan *software* ETAP 12.6 yaitu besar nilai arus hubung singkat maksimum dan nilai arus hubung singkat minimum. Arus hubung singkat maksimum diperoleh dari simulasi hubung singkat 3 fasa 4 *cycle*, sedangkan arus hubung singkat minimum diperoleh dari simulasi hubung singkat 2 fasa 30 *cycle*. (Triandini, 2015). Arus hubung singkat maksimum digunakan untuk mencari nilai *Time Multiplier Setting* (TMS) dan arus hubung singkat minimum digunakan untuk mencari nilai *pick up instantaneous* pada rele arus lebih. Tabel 1 menunjukkan nilai arus hubung singkat di titik terdekat dengan rele arus lebih.

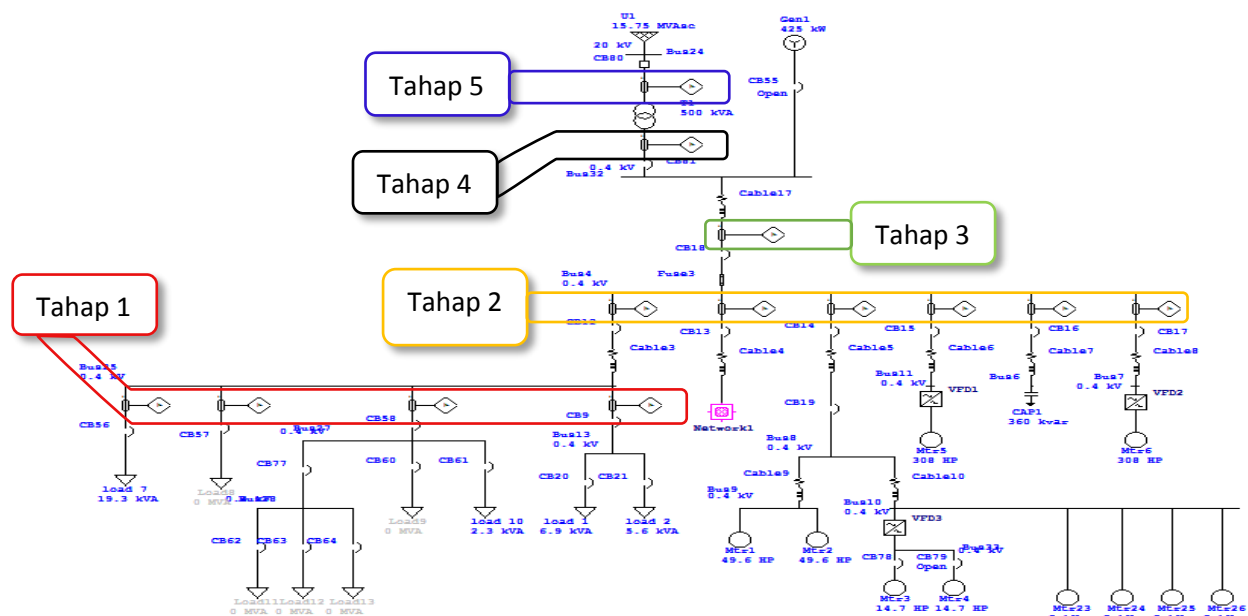
Tabel 1. Arus Hubung Singkat Maksimum dan Minimum

Titik terdekat Rele	Arus Hubung Singkat Maksimum (kA)	Arus Hubung Singkat Minimum (kA)
Bus 4	19.924	16.830
Bus 14	7.369	6.014
Bus 24	0.464	0.394
Bus 25	11.808	10.105
Bus 32	23.147	19.626

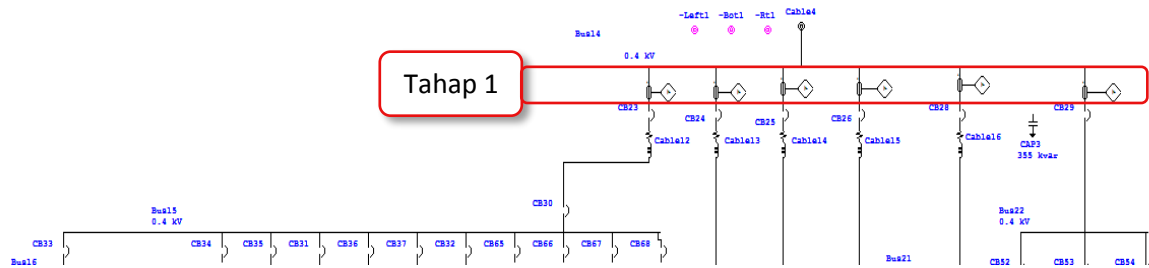
3.2 Diskriminasi Rele

Proteksi arus lebih adalah perlindungan sistem dan peralatan dari arus yang melebihi arus nominalnya. Sedangkan tujuan proteksi itu sendiri adalah untuk mendiskriminasi bagian sistem atau peralatan akibat gangguan yang terjadi sehingga sistem dan peralatan tidak mengalami kerusakan.

Untuk menentukan nilai setting rele arus lebih harus mempertimbangkan beberapa faktor sehingga terbentuk koordinasi proteksi yang handal, terkontrol dan tidak tumpang tindih antara rele satu dengan yang lainnya saat terjadi gangguan. Dalam hal ini antara rele utama dengan rele cadangan memiliki perbedaan keterlambatan yang telah ditentukan. Untuk itu, perlu adanya diskriminasi antara waktu dan arus untuk mengkoordinasikan sistem rele proteksi arus lebih. Berdasarkan *single line diagram* pada gambar 3 dan 4 akan didapatkan 5 tahap dilihat dari jarak rele terjauh sampai yang terdekat dari pembangkit.



Gambar 3. Diskriminasi Rele Arus Lebih 5 Tahap Bagian 1



Gambar 4. Diskriminasi Rele Arus Lebih 5 Tahap Bagian 2

Setiap tahap memiliki setting waktu dan arus yang berbeda-beda. Tahap 1 merupakan titik terjauh rele dari pembangkit sehingga waktu operasinya lebih cepat dan setting arusnya adalah yang terkecil, diikuti tahap-tahap berikutnya. Tabel 2 menunjukkan perbedaan waktu dan arus pada setiap tahap.

Tabel 2. Perbedaan Setting Waktu dan Arus di Setiap Tahap

Tahap	Waktu Operasi (T)	<i>Delay Instantaneous</i>	Faktor Pengali Arus <i>Pick up Instantaneous</i>
Tahap 1	1.1	0.1	0.8
Tahap 2	2.1	0.3	0.9
Tahap 3	3.7	0.5	1
Tahap 4	4.5	0.7	1.1
Tahap 5	5.3	0.9	1.2

3.3 Setting Koordinasi Rele

Setting koordinasi rele digunakan untuk menentukan nilai *Full Load Ampere* (FLA), arus *pick up*, TMS, *Arus pick up instantaneous* dan *delay instantaneous* yang kemudian dimasukkan pada setting rele R11.

Data yang diperlukan untuk setting rele R11 adalah sebagai berikut:

1. *Manufacture* = ALSTROM
2. *Model* = P139
3. Kurva = *Standard Inverse* (SI)
4. Rasio CT = 300/1
5. *Isc Max Bus 25* = 11808 A
6. *Isc Min Bus 25* = 10105 A

Karena rele R16 berada pada tahap 1 maka:

1. Waktu Operasi (T) = 1.1
2. *Delay Instantaneous* = 0.1
3. Pengali arus *pick up instantaneous* = 0.8

Menentukan nilai *Full Load Ampere* (FLA) atau arus beban maksimum dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{FLA} &= \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \text{ kV}} \\ &= \frac{12.5 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 0.4 \text{ kV}} \\ &= 18.0422 \text{ A} \end{aligned} \quad (1)$$

Selanjutnya dalam menentukan nilai arus *pick up* dapat menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{1.1 \times \text{FLA}}{\text{Rasio CT}} \\ &= \frac{1.1 \times 18.0422 \text{ A}}{300} \\ &= 0.066155 \text{ A} \end{aligned} \quad (2)$$

Nilai *Time Multiplier Setting* (TMS) dapat dicari dengan adanya data arus hubung singkat maksimum di titik rele terdekat dan arus aktual pada setting rele yang terdapat pada persamaan berikut.

$$\begin{aligned} I_s &= I_p \times \text{Rasio CT} \\ &= 0.066155 \text{ A} \times 300 \\ &= 19.84642 \text{ A} \end{aligned} \quad (3)$$

$$I_{sc} \text{ Max Bus 25} = 11808 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \text{TMS (SI)} &= \frac{T \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max}}{I_s} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14} \\ &= \frac{0.3 \times \left[\left(\frac{11808 \text{ A}}{19.84642 \text{ A}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14} \\ &= 1.070864 \end{aligned} \quad (4)$$

Arus *pick up instantaneous* dapat dicari dengan dengan adanya data arus hubung singkat minimum dan rasio CT sehingga persamaan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} I_{p_{ins}} &= \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ Min Bus 25}}{\text{Rasio CT}} \\ &= \frac{0.8 \times 10105 \text{ A}}{300} \\ &= 26.9467 \text{ A} \end{aligned} \quad (5)$$

Dengan menggunakan persamaan diatas, maka dapat ditentukan nilai dari setting rele yang lain dengan mempertimbangkan tahap dan titik bus terdekat dari rele. Tabel 3 menunjukkan setting arus *pick up*, TMS, arus *pick up instantaneous* dan *delay instantaneous* dari semua rele yang ada.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Setting Rele

Rele	Rasio CT	Titik Terdekat	I_p (A)	TMS (SI)	$I_{p_{ins}}$ (A)	Delay (s)
RTp1	50/1	Bus24	0.317543	2.643578	9.456	0.9
RTs1	700/1	Bus32	1.134081	2.242974	30.841	0.7
R1	600/1	Bus32	0.853811	2.092991	32.71	0.5
R2	500/1	Bus4	0.108282	1.881392	30.294	0.3

R3	500/1	Bus4	1.024574	1.139442	30.294	0.3
R4	500/1	Bus4	0.163217	1.743417	30.294	0.3
R5	500/1	Bus4	0.85419	1.198258	30.294	0.3
R6	500/1	Bus4	0.85419	1.198258	30.294	0.3
R7	500/1	Bus4	0.85419	1.198258	30.294	0.3
R8	300/1	Bus25	0.102143	0.993638	26.9467	0.1
R9	300/1	Bus25	0.102143	0.993638	26.9467	0.1
R10	300/1	Bus25	0.012172	1.37831	26.9467	0.1
R11	300/1	Bus25	0.066155	1.070864	26.9467	0.1
R12	180/1	Bus14	0.276968	0.825637	26.9467	0.1
R13	180/1	Bus14	0.45338	0.740475	26.9467	0.1
R14	180/1	Bus14	0.45338	0.740475	26.9467	0.1
R15	180/1	Bus14	1.552431	0.531412	26.9467	0.1
R16	180/1	Bus14	0.076448	1.052084	26.9467	0.1
R17	180/1	Bus14	0.03343	0.982388	26.9467	0.1

Berdasarkan tabel 3 dapat diketahui bahwa nilai setting arus *pick up* dan nilai TMS (*Time Multiplier Setting*) setiap rele berbeda-beda namun juga ada yang sama hal ini dikarenakan tergantung dari besar nilai arus gangguan maksimum disetiap titik dan rasio CT yang terpasang pada setiap rele. Setting nilai TMS mengacu pada salah satu karakteristik *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT) yaitu karakteristik *Standard Inverse* (SI). Demikian pula dengan nilai arus *pick up instantaneous* yang menunjukkan perbedaan pada setiap rele hal ini tergantung dari besar nilai arus gangguan minimum di titik terdekat rele dan rasio CT. Besar nilai *delay instantaneous* ditentukan dari letak rele, semakin jauh rele dari pembangkit maka semakin cepat setting *delay instantaneous*.

3.4 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih

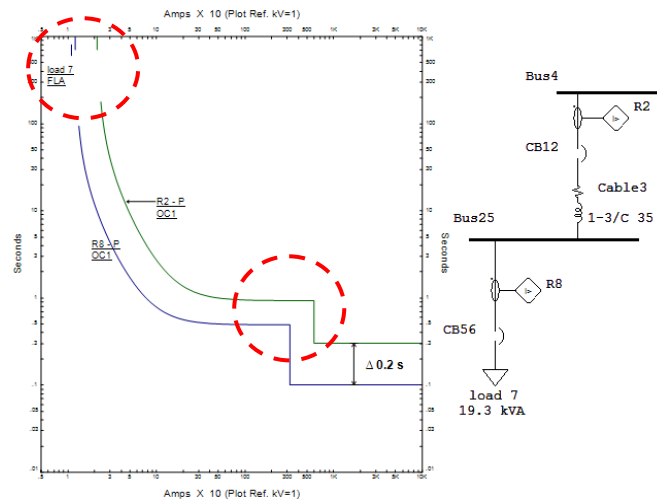
Pengujian simulasi dilakukan menggunakan *software* ETAP *Power station* 12.6 dengan menggunakan data pada tabel 3. Semua data dimasukkan ke setting rele pada *single line diagram*, sehingga nantinya dapat dimunculkan koordinasi antar rele. Pengujian dilakukan berdasarkan proteksi transformator dan beban yang ada, sehingga didapat koordinasi proteksi antara rele utama dan rele cadangan yang sempurna.

Sistem distribusi tenaga listrik di Pusat Penampungan Produksi Menggung Pertamina Asset IV Field Cepu hanya menggunakan 1 buah transformator namun memiliki beban yang

banyak sehingga didapat 7 kondisi koordinasi proteksi untuk mewakili keseluruhan rele. Dengan mempertimbangkan banyaknya beban yang ada, maka adanya rele arus lebih diperuntukkan untuk memproteksi beban.

1. Kondisi 1

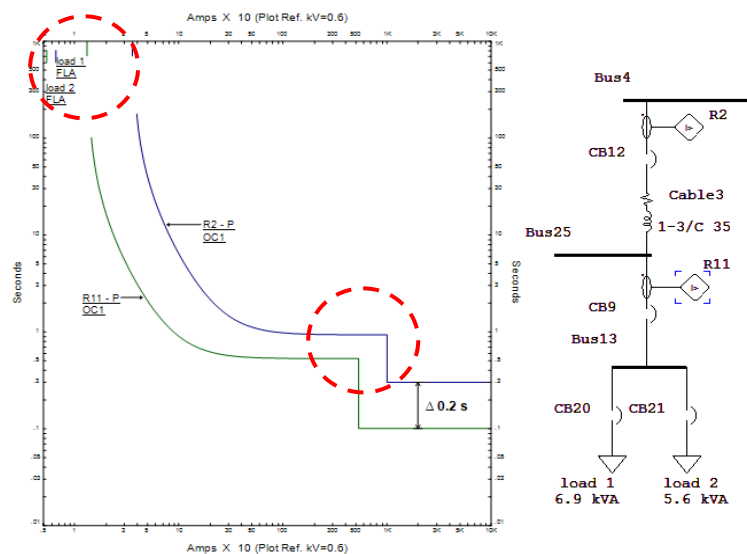
Gambar 5 menunjukkan kondisi 1 dimana R8 sebagai rele utama dan R2 sebagai rele cadangan untuk memproteksi *Load 7*. Hasil kurva R8 dan R2 menunjukkan tidak tumpang tindih satu sama lain, hal ini mengacu kepada standar IEEE 242-1986 bahwa perbedaan waktu kerja minimal antara rele utama dan rele cadangan adalah 0.2 – 0.4 detik.



Gambar 5. Koordinasi Proteksi *Load 7*

2. Kondisi 2

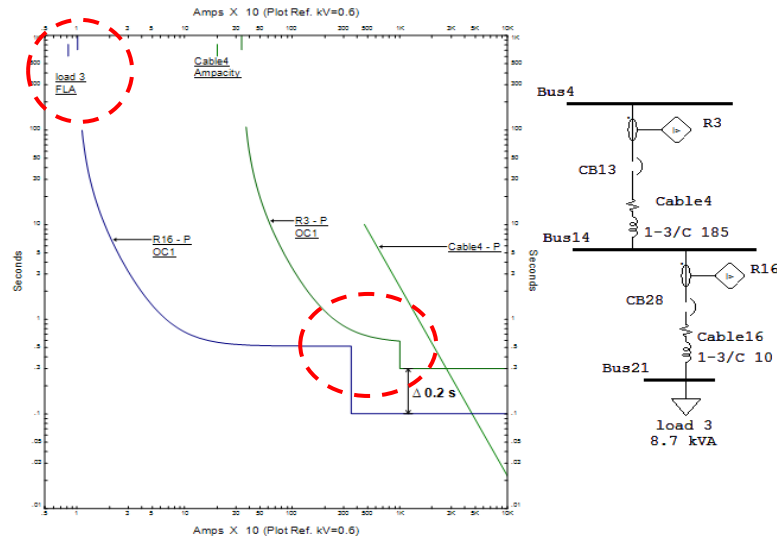
Gambar 6 menunjukkan kondisi 2 dimana R11 sebagai rele utama dan R2 sebagai rele cadangan untuk memproteksi *Load 1* dan *Load 2*. Hasil kurva R11 dan R2 menunjukkan tidak tumpang tindih satu sama lain, hal ini mengacu kepada standar IEEE 242-1986 bahwa perbedaan waktu kerja minimal antara rele utama dan rele cadangan adalah 0.2 – 0.4 detik.



Gambar 6. Koordinasi Proteksi *Load 1* dan *2*

3. Kondisi 3

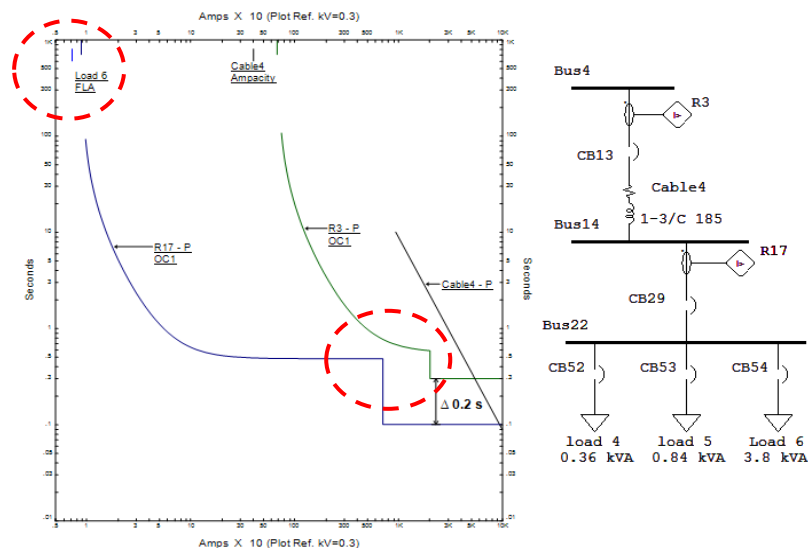
Gambar 7 menunjukkan kondisi 3 dimana R16 sebagai rele utama dan R3 sebagai rele cadangan untuk memproteksi *Load 3*. Hasil kurva R16 dan R3 menunjukkan tidak tumpang tindih satu sama lain, hal ini mengacu kepada standar IEEE 242-1986 bahwa perbedaan waktu kerja minimal antara rele utama dan rele cadangan adalah 0.2 – 0.4 detik.



Gambar 7. Koordinasi Proteksi *Load 3*

4. Kondisi 4

Gambar 8 menunjukkan kondisi 4 dimana R17 sebagai rele utama dan R3 sebagai rele cadangan untuk memproteksi *Load 4, 5, dan 6*. Hasil kurva R17 dan R3 menunjukkan tidak tumpang tindih satu sama lain, hal ini mengacu kepada standar IEEE 242-1986 bahwa perbedaan waktu kerja minimal antara rele utama dan rele cadangan adalah 0.2 – 0.4 detik.

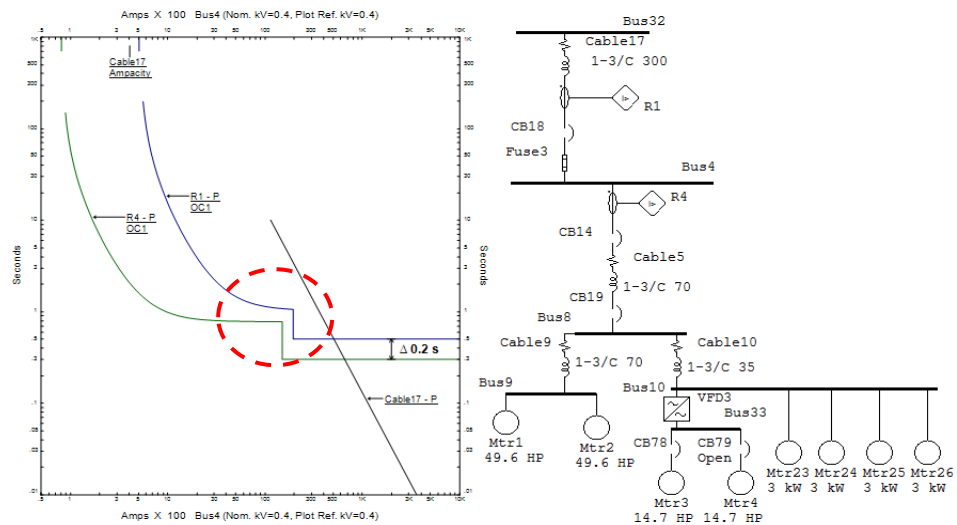


Gambar 8. Koordinasi Proteksi *Load 4, 5 dan 6*

5. Kondisi 5

Gambar 9 menunjukkan kondisi 5 dimana R4 sebagai rele utama dan R1 sebagai rele cadangan untuk memproteksi Motor 1, 2, 3, 4, 23, 24, 25, dan 26. Hasil kurva R4 dan R1

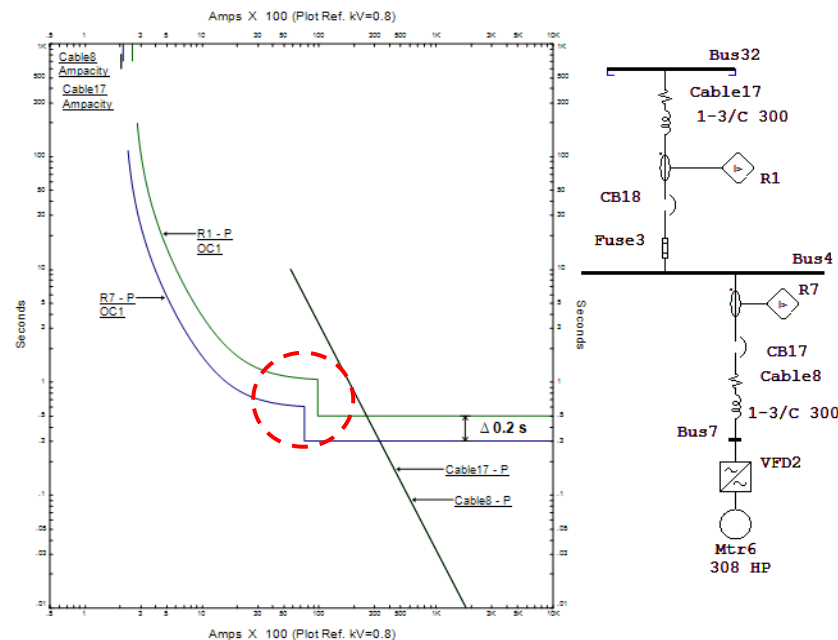
menunjukkan tidak tumpang tindih satu sama lain, hal ini mengacu kepada standar IEEE 242-1986 bahwa perbedaan waktu kerja minimal antara rele utama dan rele cadangan adalah 0.2 – 0.4 detik.



Gambar 9. Koordinasi Proteksi Motor 1, 2, 3, 4, 23, 24, 25, dan 26

6. Kondisi 6

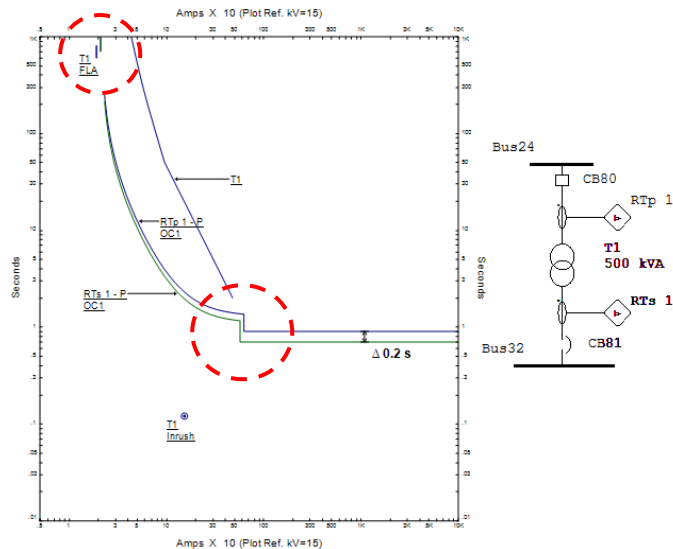
Gambar 10 menunjukkan kondisi 6 dimana R7 sebagai rele utama dan R1 sebagai rele cadangan untuk memproteksi Motor 6. Hasil kurva R7 dan R1 menunjukkan tidak tumpang tindih satu sama lain, hal ini mengacu kepada standar IEEE 242-1986 bahwa perbedaan waktu kerja minimal antara rele utama dan rele cadangan adalah 0.2 – 0.4 detik.



Gambar 10. Koordinasi Proteksi Motor 6

7. Kondisi 7

Gambar 11 menunjukkan kondisi 7 dimana RTs 1 sebagai rele utama dan RTp 1 sebagai rele cadangan untuk memproteksi Trafo 1. Hasil kurva R4 dan R1 menunjukkan tidak tumpang tindih satu sama lain, hal ini mengacu kepada standar IEEE 242-1986 bahwa perbedaan waktu kerja minimal antara rele utama dan rele cadangan adalah 0.2 – 0.4 detik.



Gambar 11. Koordinasi Proteksi Trafo 1

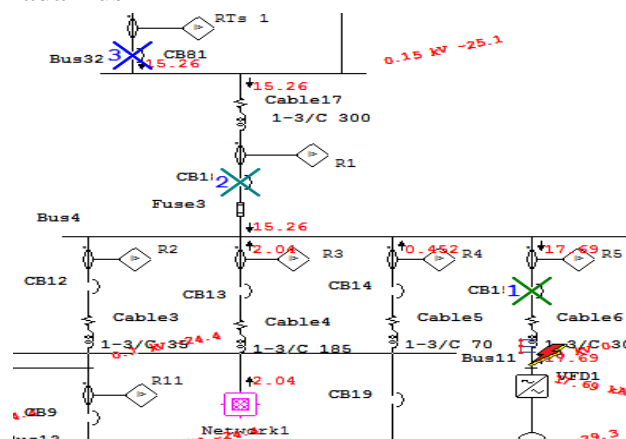
Berdasarkan hasil dari pengujian simulasi pada setiap kondisi di atas, menunjukkan bahwa hasil dari perhitungan setting rele sebelumnya telah terbukti dapat membentuk suatu koordinasi antar rele yang baik. Hal ini dapat dilihat dari setiap kurva koordinasi hasil simulasi rele yang berbeda tahap menunjukkan bahwa tidak ada yang saling tumpang tindih.

Pada gambar 11 menunjukkan kurva kordinasi proteksi trafo yang didalamnya terdapat titik arus *inrush* trafo. Letak dari titik arus *inrush* trafo berada di bawah kurva rele, hal ini bertujuan agar rele tidak bekerja saat trafo dihubungkan langsung ke sumber AC yang dapat menimbulkan arus *inrush*. Dari setiap tahap rele memiliki perbedaan waktu kerja sebesar 0.2 detik hal ini mengacu kepada standar IEEE 242-1986.

3.5 Simulasi Pengujian Rele Terhadap Gangguan

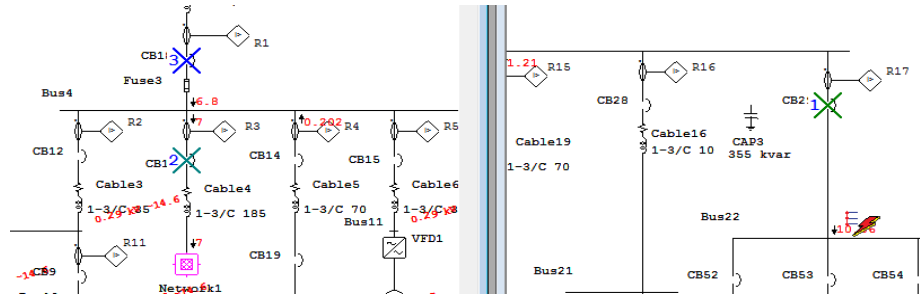
Dari kurva pengujian rele arus lebih selanjutnya dilakukan pengujian rele dengan *circuit breaker* (CB). Hal ini bertujuan untuk mengetahui rele sudah terkoneksi dengan *circuit breaker* dengan baik atau tidak. Apabila terjadi gangguan pada beban maupun pada jaringan distribusi, *circuit breaker* yang terletak di dekat sumber gangguan akan trip berurutan menuju sumber. Berikut adalah pengujian trip circuit breaker dengan menggunakan sumber gangguan secara acak:

1. Sumber Gangguan Pada Bus 11



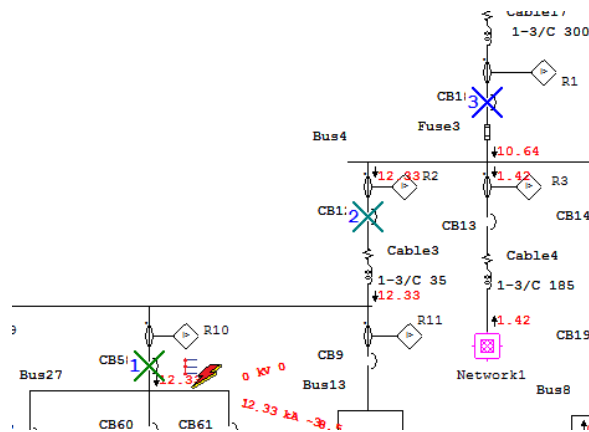
Gambar 12. Pengujian Dengan Sumber Gangguan Pada Bus 11

2. Sumber Gangguan Pada Bus 22



Gambar 13. Pengujian Dengan Sumber Gangguan Pada Bus 22

3. Sumber Gangguan Pada Bus 27



Gambar 14. Pengujian Dengan Sumber Gangguan Pada Bus 27

Dari ketiga hasil pengujian trip *circuit breaker* menunjukkan bahwa rele sudah terkoneksi dengan *circuit breaker*. Hal ini ditunjukkan ketika terjadi gangguan, *circuit breaker* yang terdekat dengan sumber gangguan akan merespon dan trip lebih dahulu dan selanjutnya hingga menuju sumber arus. Dapat dilihat pada ketiga gambar urutan dari trip *circuit breaker* ditunjukkan dengan angka 1, 2, dan 3.

4. PENUTUP

Setelah mendapatkan hasil analisa perhitungan, simulasi koordinasi rele arus lebih, dan pengujian rele dengan *circuit breaker* terhadap suatu gangguan menggunakan *software* ETAP Power Station 12.6 di Pusat Penampungan Produksi Menggung Pertamina Asset IV Field Cepu, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dalam menentukan nilai setting rele perlu adanya diskriminasi rele agar terbentuk koordinasi proteksi yang handal, terkontrol dan tidak tumpang tindih antara rele satu dengan yang lainnya saat terjadi gangguan.
2. Setting perbedaan waktu kerja antara rele utama dan rele cadangan yang diperlukan adalah 0.2 detik yang sudah sesuai dengan standar IEEE 242-1986.
3. Hasil simulasi kurva di atas menunjukkan bahwa setting rele sudah baik sehingga membentuk suatu koordinasi antar rele yang tidak tumpang tindih.
4. Hasil pengujian rele dan *circuit breaker* (CB) terhadap gangguan menunjukkan ketika terjadi gangguan rele akan memerintahkan *circuit breaker* yang terdekat dengan sumber gangguan untuk trip dan selanjutnya hingga menuju *circuit breaker* yang dekat dengan sumber arus.
5. *Circuit breaker* trip secara berurutan yang ditunjukkan pada gambar 12, 13, dan 14 sehingga tercipta koordinasi proteksi yang baik.

PERSANTUNAN

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik. Tak lupa penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dan mendukung dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini, yaitu sebagai berikut:

1. Bapak dan ibu yang selalu memberikan dukungan, dorongan, do'a, semangat dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
2. Bapak Umar S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
3. Bapak Aris Budiman S.T., M.T. selaku dosen pembimbing.
4. Bapak dan ibu dosen jurusan elektro fakultas teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
5. Bapak Azis dan Bapak Bangkit selaku petugas maintenance di Pusat Penampungan Produksi Menggung Pertamina Asset IV Field Cepu yang telah memberikan arahan dan menjelaskan tentang data-data yang diperlukan untuk tugas akhir.
6. Tatik Arfyadi yang selalu memberikan do'a dan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya.
7. Teman-teman Teknik Elektro UMS angkatan 2012 yaitu Andre Farmada, Saleh Syahmi, Joulda Faisal Bariq, Susanto, Ade Setiawan, Dedi Eka Putra, Zainal Mustofa, Fuji Fitriani, Septia Ayu N. D serta semua teman-teman Teknik Elektro angkatan 2012 yang telah memberikan dorongan, semangat dan do'a dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
8. Serta semua pihak yang telah membantu, memberikan dukungan dan do'a yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- Horowitz, S. H., & Arun G. Phadke (2008). *Power System Relaying, Third Edition*. United States of America.
- Kasmir. (2011). *Koordinasi Rele Arus Lebih Di Gardu Induk Bukit Siguntang Dengan Simulasi (ETAP 6.00)*. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang.
- Sandesh, A., et al. (2016). *Coordination of Overcurrent Relay for Radial and Parallel Feeder Networks*. Kathmandu University, Dhulikhel, Nepal.
- Saini, S. (2014). *Overcurrent Relay Coordination for Phase and Earth Faults Using ETAP*. Amity University, Noida, India
- Short, T. A. (1966). "Electric Power Distribution Handbook", dalam Leo L. Grigsby (ed.), *The Electric Power Engineering Series*. CRC Press LLC, 2000 N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida.
- Suswanto, D. (2009). *Sistem distribusi Tenaga Listrik*. Universitas Negeri Padang.
- Thangalakshmi, S. (2016). *Planning and Coordination of Relays in Distribution System*. Indian Journal of Science and Technology, Vol. 9 (31).
- Triandini, T. Y. R. (2015). *Analisa Sistem Proteksi Rele (Overcurrent dan Ground Fault) Dengan Menggunakan Kurva Koordinasi Rele dan Software ETAP 7.5 Pada Plant Unit 5 PT. Krakatau Posco*. Universitas Mercubuana Jakarta
- .